



31.

ilProgettoSostenibile

**Ricerca
e tecnologie
per l'ambiente
costruito**

RECUPERARE RIQUALIFICARE RIGENERARE

Focus Recupero edilizio ed urbanistico di un'area rurale • Il progetto di riqualificazione di aree pedonali e centri storici • Nuovi territori per una nuova sostenibilità. La rigenerazione territoriale • L'approccio tecnologico per l'efficienza energetica e la sostenibilità del progetto • Criteri e modelli per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio scolastico • Involucro edilizio energeticamente efficiente ed edilizia scolastica **Studi e ricerche** Sistema a bassa intensità energetica per la conservazione dell'ambiente rurale • Best practices sulla riqualificazione energetica e urbanistica di aree produttive miste • MED in Italy. La casa mediterranea sostenibile a Solar Decathlon Europe 2012 • Tecnologie innovative per un involucro edilizio opaco evolutivo • La nuova specifica tecnica UNI/TS 11445 – Impianti per la raccolta e l'utilizzo dell'acqua piovana **Tesi di Dottorato** Università degli Studi di Firenze, Ferrara, Genova, Roma "La Sapienza", Cagliari, Bari, L'Aquila, Venezia, Bologna

31. ilProgettoSostenibile

Recuperare Riqualicificare Rigenerare

4. Verso quale sviluppo futuro?

Editoriale di Carlo Cecere

FOCUS

- 8. **Recupero edilizio ed urbanistico di un'area rurale**
Building and urban restoration of a rural area
Giorgio Garau
- 16. **Il progetto di riqualificazione di aree pedonali e centri storici**
The requalification project of pedestrian zones and old towns
Gabriella Verardi
- 22. **Nuovi territori per una nuova sostenibilità. La rigenerazione territoriale**
New areas for a new sustainability. The territorial renovation
Carlo Patrizio
- 30. **L'approccio tecnologico per l'efficienza energetica e la sostenibilità del progetto**
Technological approach to energy efficiency and sustainability in a project
Giuseppe Alaimo, Daniele Enea
- 38. **Criteri e modelli per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio scolastico**
Criteria and models for energy retrofitting of existing schools
Luca Boiardi, Annarita Ferrante, Riccardo Gulli
- 48. **Involucro edilizio energeticamente efficiente ed edilizia scolastica**
Energy efficiency in a building envelope and school building
Rosa Romano



8

STUDI E RICERCHE

- 60. **Sistema a bassa intensità energetica per la conservazione dell'ambiente rurale**
Low energy intensity system to preserve rural environment
Rossella Franchino
- 64. **Best practices sulla riqualificazione energetica e urbanistica di aree produttive miste**
Best practices for energy and urban requalification of industrial mixed use zones
Angela Molinari
- 68. **MED in Italy. La casa mediterranea sostenibile a Solar Decathlon Europe 2012**
MED in Italy. The Mediterranean sustainable house at Solar Decathlon Europe 2012
Gabriele Bellingeri, Mario Grimaudo
- 74. **Tecnologie innovative per un involucro edilizio opaco evolutivo**
New technologies for evolving opaque building envelope
Alessandra Battisti
- 80. **La nuova specifica tecnica UNI/TS 11445 – Impianti per la raccolta e l'utilizzo dell'acqua piovana**
New technical specification UNI/TS 11445 – Gathering and reusing rainwater
Anna Frangipane



22

ilProgettoSostenibile

Ricerca e tecnologie per l'ambiente costruito

Rivista trimestrale

Anno 11 - n° 31 settembre 2012

ISSN 1974-3327

Registrazione Trib. Gorizia n. 5/03 del 9.9.2003

Numero di iscrizione ROC: 8147

Direttore responsabile: Ferdinando Gottard

Coordinamento editoriale: Anna Raspar

Comitato scientifico Focus: Isabella Amirante, Carlotta Fontana, Robert Hastings, Virginia Gangemi, Rosario Giuffrè, Mario Grosso, J. Lopez de Asialin, Fabrizio Orlandi, Rossanna Raiteri, Marco Sala, Mat Santamouris, Rafael Serra, Willi Weber, Simos Yannas

Redazione: Lara Bassi, Lara Gariup

Progetto grafico: Marco Klobas

Editore: EdicomEdizioni – Monfalcone (GO)

Redazione e amministrazione Editore:

Via I Maggio 117 – 34074 Monfalcone (GO)

tel. 0481.484488, fax 0481.485721

e-mail: redazione@edicomedizioni.com

Pubblicità: EdicomEdizioni

Stampa: Grafiche Manzanesi – Manzano (UD)

Stampato interamente su carta riciclata da fibre selezionate

Prezzo di vendita: euro 20,00

Abbonamenti: Italia: euro 60,00 – Estero: euro 120,00

Gli abbonamenti possono iniziare, salvo diversa indicazione, dal primo numero raggiungibile in qualsiasi periodo dell'anno.

Distribuzione in libreria

Joo Distribuzione

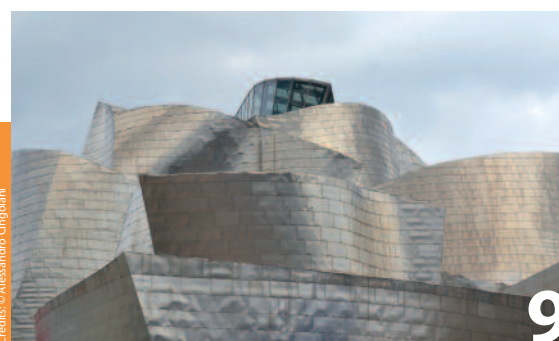
via F. Argelati, 35 – Milano

La direzione lascia agli autori piena responsabilità degli articoli firmati.

È vietata la riproduzione, anche parziale, di articoli, disegni e foto se non espressamente autorizzata dall'editore.

TESI DI DOTTORATO

- | | |
|--|---|
| 86. Giuseppina Alcamo <i>Università degli Studi di Firenze</i> | 91. Katia Perini <i>Università Degli Studi di Genova</i> |
| 87. Giovanni Avosani <i>Università degli studi di Ferrara</i> | 92. Alessandra Pierucci <i>Politecnico di Bari</i> |
| 88. Giacomo Cassinelli <i>Università degli Studi di Genova</i> | 93. Luca Rocchi <i>Università degli Studi di Ferrara</i> |
| 89. Lukia Fais <i>Università degli Studi di Roma "La Sapienza"</i> | 94. Marianna Rotilio <i>Università degli Studi di L'Aquila, sede consorziata di Pavia</i> |
| 90. Emanuele Mura <i>Università degli Studi di Cagliari</i> | 95. Amedeo Squarzone <i>Ferrara, Venezia, Bologna Università consociate</i> |

**74**

Credits: © Alessandro Grogan

95

Giuseppe Alaimo

professore associato

Daniele Enea

assegnista di ricerca

Dipartimento di Architettura

Università degli Studi

di Palermo

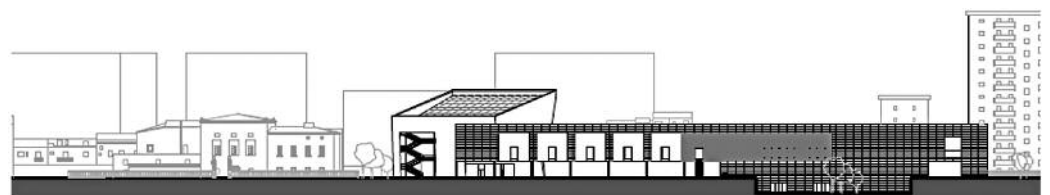
L'approccio tecnologico per l'efficienza energetica e la sostenibilità del progetto

Il progetto sostenibile dell'edificio, per la complessità tecnologica delle esigenze da soddisfare, l'ingente impiego di energia e il conseguente impatto sull'ambiente, impone una strategia progettuale integrata tra le diverse discipline e aspetti coinvolti (architettonico, tecnologico, impiantistico, ambientale, etc.). I caratteri morfologici e tecnologici del progetto e la natura dei materiali influiscono fortemente sull'efficienza energetica, il comfort interno e l'impatto ambientale durante il ciclo di vita, aspetti tra loro fortemente interdipendenti, su cui ormai da tempo è rivolta l'attenzione della comunità scientifica e degli enti normatori nazionali ed internazionali.

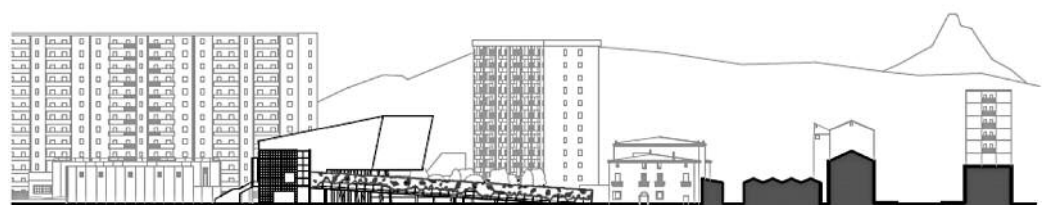
L'articolo presenta un esempio di approccio complessivo alle problematiche della sostenibilità ambientale in edilizia, applicato a un caso studio di progetto di una mediateca a Palermo, in cui, a partire da un'analisi del contesto, sono state messe a confronto soluzioni progettuali e tecnologiche diverse al fine di ottimizzarne l'eco-efficienza complessiva.

L'efficienza energetico-ambientale dell'edificio durante il ciclo di vita impone un approccio tecnologico integrato.

L'approccio tecnologico alla progettazione edilizia, finalizzato alla definizione del livello prestazionale del fabbricato, assume pertanto un ruolo fondamentale per la riduzione dell'impatto ambientale delle costruzioni, sull'intero ciclo di vita, comprese le fasi di dismissione e riciclaggio dei materiali derivati. Proprio in quest'ultimo ambito, l'innovazione di processo consente di superare il concetto tradizionale di demolizione, connesso alla produzione di materiale più o meno inutilizzabile ed inquinante, verso un nuovo concetto di decostruzione inteso come processo reversibile, su cui si basa la tecnologia stratificata a secco¹, che possiede i caratteri dell'edilizia a basso consumo energetico e dunque a basso inquinamento atmosferico. È una tecnologia basata sull'assemblaggio di elementi semplici, anche innovativi, su un sistema intelaiato leggero, generalmente di acciaio o legno, o nelle soluzioni ibride in calcestruzzo armato, che si pone come alternativa al sistema tradizionale "umido" latero-cementizio. Nella stratificazione, ciascun elemento svolge una funzione specifica e il pacchetto completo l'insieme delle funzioni richieste, in un sistema connotato dalla integrabilità prestazionale, sulla base di esigenze progettuali specifiche.



PROFILO AA



PROFILO BB

Figura 1. Prospetti della mediateca inseriti nel contesto.

Dati progettuali relativi alla mediateca

| | |
|--|----------------------|
| Volume lordo riscaldato | 9.655 m ³ |
| Superficie che delimita verso l'esterno il volume riscaldato | 5.968 m ² |
| Rapporto di forma S/V | 0,62 |
| Gradi-giorno | 751 |
| Numero di ricambi d'aria | 0,5/h |
| Utilizzo giornaliero impianto di ventilazione forzata | 16 h (8:00-23:00) |
| Area interna totale | 6.430 m ² |
| Occupanti giornalieri | 200 |
| Apporto energetico occupanti totali | 14.000 MJ/mese |
| Apporto energetico apparecchiature elettriche | 7.700 MJ/mese |
| Apporto energetico impianto di illuminazione | 3.600 MJ/mese |
| Tipo di terminale di erogazione | pannello radiante |
| Rendimento di emissione | 0,930 |

Tabella 1. Dati progettuali relativi alla mediateca.

Il progetto

L'area d'intervento si trova in una zona residenziale del quartiere Mezzomonreale di Palermo, a sud-ovest della città, caratterizzata da spazi verdi e preesistenze storiche che ne aumentano valore e potenzialità. In questo contesto la mediateca vuole rivestire una funzione di catalizzatore sociale, ispirandosi al modello londinese degli Idea-Store², e per questo si compone non solo degli spazi tradizionali per la consultazione del materiale audiovisivo e multimediale, ma anche di aree separate per bambini e ragazzi, nonché laboratori per lo svolgimento di corsi formativi aperti al quartiere. Una sala conferenze e una caffetteria completano il quadro funzionale dell'opera (fig. 1). La complessità e l'interdisciplinarietà delle problematiche connesse alla sostenibilità del progetto, hanno imposto una strategia progettuale integrata, basata su tecnologie sostenibili, e un'attenta valutazione dei vari aspetti coinvolti³: architettonico, tecnologico, impiantistico, ambientale e gestionale.

Le scelte architettoniche sono così improntate a un approccio bioclimatico, sulla base del quale è stata definita la configurazione dell'involucro e l'orientamento dell'edificio, al fine di controllare gli apporti solari in funzione del comfort interno, ricercando un equilibrato rapporto tra superficie disperdente e volume riscaldato⁴. La scelta dei materiali ha privilegiato l'impiego di prodotti eco-compatibili locali, limitando il costo socio-ambientale del trasporto. Diverse soluzioni tecniche sono state vagliate per la configurazione dell'involucro, mettendo a confronto le prestazioni di un sistema tradizionale con tecnologia "umida" con quello basato sulla tecnologia stratificata a secco. Per ciascuno si è proceduto alla valutazione dell'influenza degli aspetti morfologici e tecnologici dell'organismo edilizio, sulle sue caratteri-

stiche di efficienza energetica, di qualità e sostenibilità ambientale, ai fini dell'ottimizzazione del progetto, contestualizzando i criteri e le scelte (morfologia, orientamento, vuoti-pieni, schermature, dimensione finestre, profilo tecnico-ambientale dei materiali, soluzioni tecnologiche, etc.), rapportandoli cioè, alle caratteristiche climatiche, storiche, sociali, ambientali dei luoghi.

Nel caso studio vengono approfonditi tre aspetti, che contribuiscono in modo significativo ed interdipendente alla sostenibilità dell'intervento:

- risparmio ed efficienza energetica dell'edificio;
- comfort e qualità degli ambienti indoor;
- qualità ambientale.

Analisi degli aspetti energetici

Climatizzazione invernale

L'obiettivo dell'efficienza energetica della mediateca è stato perseguito attraverso lo studio dell'involucro, l'attenta valutazione del rapporto tra apporti gratuiti e dispersioni, tra fabbisogno energetico e grado di isolamento, tra superficie disperdente e volume riscaldato, tra esigenze estive ed invernali. A tal fine sono state messe a confronto soluzioni tecniche e costruttive diverse per giungere ad una ottimizzazione del comportamento energetico, coerente con le disposizioni del D.Lgs 311/2006.

Nel caso specifico sono stati confrontati sistemi costruttivi e soluzioni tecniche a inerzia termica diversa per le chiusure verticali: stratificate a secco e tradizionali, in colori di finitura diversi. Tale indagine è stata condotta⁵ secondo le indicazioni della norma UNI 11300:2008. Procedura di calcolo:

1. *definizione delle caratteristiche dell'edificio:* zone "termiche" (racchiuse dall'involucro edilizio e a temperatura uniforme), zone a tempe-

ratura costante (riscaldare a temperatura diversa dalle altre zone confinanti) e spazi non riscaldati;

2. *definizione delle caratteristiche del sito:* zona climatica, numero di gradi-giorno, durata della stagione di riscaldamento, temperatura dell'aria esterna, irradiazione solare giornaliera, umidità relativa interna;

3. *definizione delle caratteristiche dell'impianto di climatizzazione invernale:* terminali di erogazione, generatori di calore, rendimento;

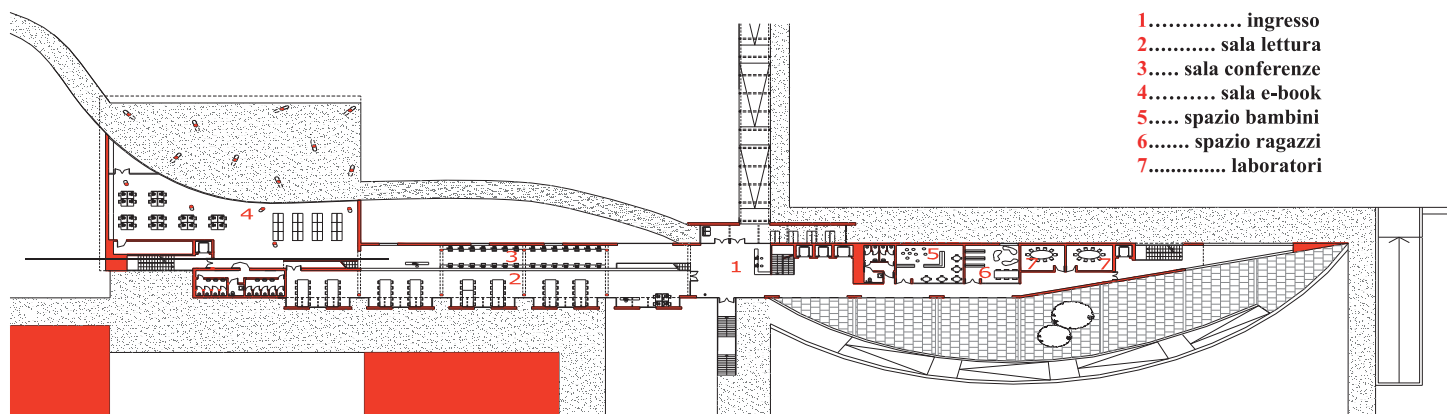
4. *caratterizzazione delle superfici disperdenti.*

L'intero volume è stato diviso in due zone termiche distinte, dotate d'impianto di riscaldamento differenziato che sono: lo spazio polifunzionale, utilizzato saltuariamente, e il restante volume che viene utilizzato quotidianamente (fig. 2).

Per quanto riguarda le scelte impiantistiche, si prevede l'impiego di una centrale termo-frigorifera ad acqua per la climatizzazione estiva e invernale, che opera congiuntamente a un'unità di trattamento aria primaria. Il terminale d'impianto scelto è il pannello radiante a soffitto (tab. 1).

I valori di trasmittanza termica delle chiusure opache dei due sistemi analizzati rispondono ai valori limite del D.Lgs 311/2006, così come la massa superficiale delle soluzioni tecniche, M_s , per le quali lo stesso decreto impone un valore superiore a 230 kg/m². Per le soluzioni stratificate leggere, che non rispettano questa prescrizione, è stato verificato, in sede di climatizzazione estiva, che sono in grado di contenere le oscillazioni di temperatura prodotte dall'irraggiamento solare.

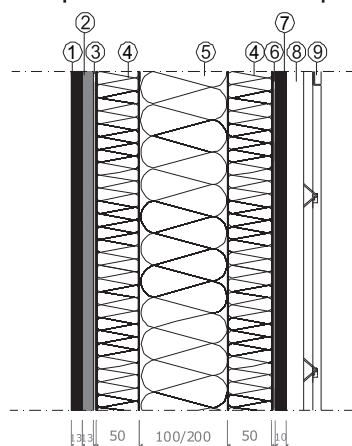
Al fine del confronto tra le chiusure verticali stratificate a secco e quelle tradizionali, è stato definito il seguente abaco di soluzioni tecniche, per ciascuna delle quali vengono riportate: natura e spessore degli strati funzionali, massa superficiale e trasmittanza termica (fig. 3).



Pianta secondo livello

2

P1: parete stratificata tipo Knauf®



LEGENDA

- 1..... Pannello in GessoFibra®
- 2..... Pannello in gesso rivestito
- 3..... Barriera al vapore
- 4..... Pannello isolante in lana di legno
- 5..... Pannello isolante in fibra di legno
- 6..... Membrana impermeabilizzante
- 7..... Pannello in cemento fibro-rinforzato
- 8..... Profilo metallico di sostegno
- 9..... Pannello in acciaio porcellanato

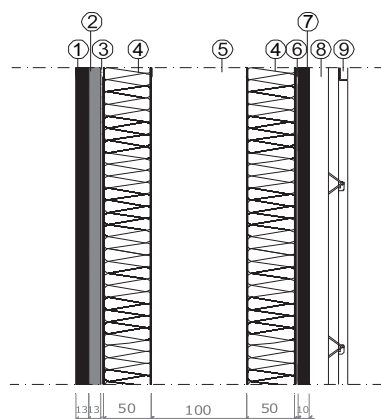
 $U = 0.14 \text{ W/m}^2\text{K}$ con $s_e = 200 \text{ mm}$
 $U = 0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$ con $s_e = 100 \text{ mm}$
 $M_s = 102 \text{ kg/m}^2$ con $s_e = 200 \text{ mm}$
 $M_s = 85 \text{ kg/m}^2$ con $s_e = 100 \text{ mm}$

1. Parete stratificata a secco con isolante, $s_e = 20 \text{ cm}$, colore scuro
2. Parete stratificata a secco con isolante, $s_e = 10 \text{ cm}$, colore scuro
3. Parete stratificata a secco con isolante, $s_e = 10 \text{ cm}$, colore chiaro
4. Parete a cassetta con isolante, colore scuro
5. Parete a cassetta con isolante, colore chiaro
6. Parete a cassetta stratificata a secco, colore scuro
7. Parete con isolante, colore scuro

Le soluzioni 1, 2 e 3 (P1), del tipo stratificate a secco (parete tipo Knauf®), differiscono per lo spessore dello strato isolante e il colore della finitura esterna, e si accompagnano all'ipotesi di edificio con struttura portante in acciaio e solai in lamiera grecata con soletta collaborante in cls. Le soluzioni 4, 5 (P3), del tipo tradizionale a cassetta con interposta coibentazione, diverse solo per il colore della superficie di finitura, nell'ipotesi di edificio con struttura portante in calcestruzzo armato e solai in latero-cemento. La soluzione 6 (P2), del tipo stratificata a secco con intercapedine d'aria (parete tipo Knauf®), nell'ipotesi di edificio con struttura portante in acciaio e solai in lamiera grecata con soletta collaborante in cls.

La soluzione 7 (P4) prevede una chiusura in muratura tradizionale con cappotto, composta da uno strato di muratura in blocchi di cls. alleggerito in argilla espansa ed uno strato esterno in lana di legno.

P2: Parete a secco con intercapedine areata tipo Knauf®

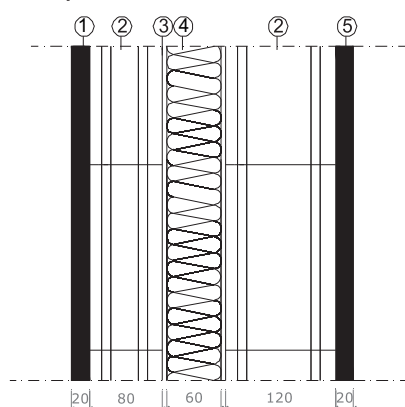


LEGENDA

- 1..... Pannello in GessoFibra®
- 2..... Pannello in gesso rivestito
- 3..... Barriera al vapore
- 4..... Pannello isolante in lana di legno inserito in struttura di supporto
- 5..... Intercapedine areata
- 6..... Membrana impermeabilizzante
- 7..... Pannello in cemento fibro-rinforzato
- 8..... Profilo metallico di sostegno
- 9..... Pannello in acciaio porcellanato

 $U = 0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $M_s = 78 \text{ kg/m}^2$

P3: parete a cassetta con isolante



LEGENDA

- 1..... Intonaco per interni
- 2..... Blocchi di cls alleggerito
- 3..... Barriera al vapore
- 4..... Pannello isolante in lana di legno
- 5..... Intonaco per esterni

 $U = 0.36 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $M_s = 242 \text{ kg/m}^2$

Analisi dei Risultati

Per ciascuna soluzione tecnica sono stati calcolati i valori delle seguenti grandezze (fig. 4):

- apporti energetici interni e solari;
 - energia dispersa per trasmissione e ventilazione;
 - fabbisogno energetico per la climatizzazione.
- Le differenze di apporti energetici, tra le diver-

3

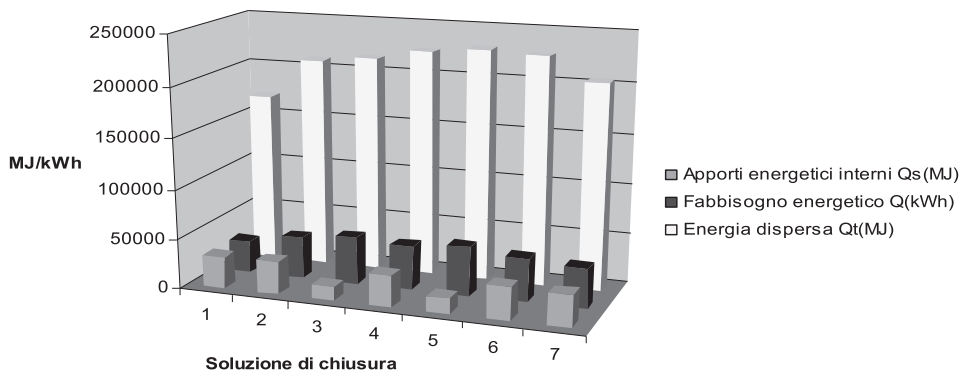


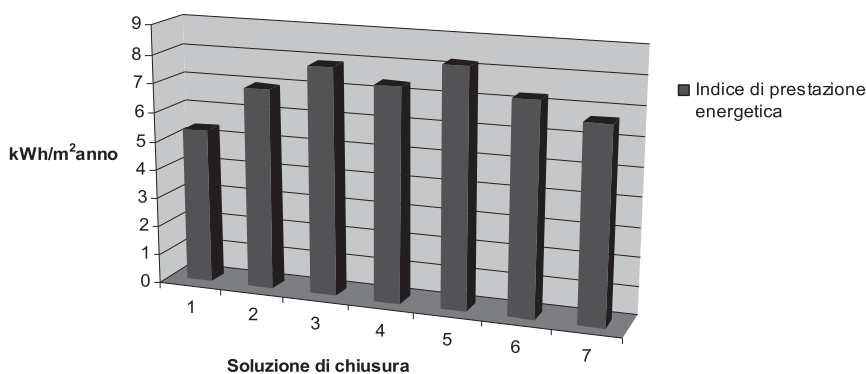
Figura 2. La distribuzione funzionale del secondo livello della mediateca.

Figura 3. L'abaco delle soluzioni scelte per le pareti di tamponamento.

Figura 4. L'analisi degli aspetti energetici delle diverse soluzioni tecniche di p.p.v. analizzate.

Figura 5. Indice di prestazione energetica delle diverse soluzioni tecniche.

4



5

| N. soluzione | Soluzione | φ | f_a |
|--------------|--|-----------|-------|
| 1 | Parete a secco con isolante spessore 20 cm, colore scuro | 11h 47' | 0,28 |
| 2 | Parete a secco con isolante spessore 10 cm, colore scuro | 8h 2' | 0,45 |
| 4 | Parete a cassetta con isolante, colore scuro | 10h 40' | 0,29 |
| 7 | Parete con isolante a cappotto, colore scuro | 11h 37' | 0,23 |

Tabella 2. I parametri significativi per le quattro soluzioni analizzate nel calcolo termico estivo.

se soluzioni, sono da imputare agli apporti solari, e quindi alla diversa capacità termica delle strutture. Risultano evidenti i bassi valori delle soluzioni 3 e 5 dovuti al colore chiaro della superficie che ha determina una perdita di energia utile pari a circa la metà del valore. Tra le soluzioni 1 e 2, entrambe con tecnologia a secco, la parete maggiormente coibentata presenta una condizione più sfavorevole in termini di apporto solare, al contrario delle strutture con maggiore inerzia termica. Infatti, le soluzioni 4 e 7, pur presentando valori di trasmittanza diversi, presentano apporti analoghi. Da questo punto di vista, la soluzione 6, ovvero la parete mista a secco e tradizionale, si dimostra più efficiente sia delle soluzioni tradizionali che di quelle stratificate a secco. Tale soluzione viene impiegata per le diverse chiusure verticali, tranne per quelle sud-est, dove si è fatto ricorso alla parete di tipo tradizionale, ritenendola più adat-

ta, per le caratteristiche di inerzia termica, ad un'esposizione particolarmente soleggiata. Le dispersioni energetiche per trasmissione non presentano differenze rilevanti. La discriminante, in questo caso, è la trasmittanza della parete. Le soluzioni 2 e 3, così come 4 e 5, confermano che, a parità di soluzione, il colore non ha influenza sulle dispersioni. Per quelle a secco, la differenza tra le soluzioni 1 e 2 è netta per via di una notevole differenza nel valore K ($K_1 = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$, $K_2 = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$). Per le soluzioni tradizionali, per le quali la trasmittanza non è molto diversa, risulta decisiva l'assenza di ponti termici della soluzione a cappotto, rendendola migliore fra quelle a tecnologia tradizionale. Ai fini del fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento, la migliore in termini di prestazioni energetiche è rappresentata dalla soluzione 1. Il parametro K è quello più influente

sul bilancio finale; infatti tra le soluzioni 1 e 2, differenti solo per la trasmittanza, il fabbisogno differisce di circa 10.000 kWh. Segue la soluzione 7 in muratura tradizionale con cappotto. La resa energetica della soluzione 6 è del tutto simile a quella delle soluzioni 1 e 2. Le soluzioni 3 e 5, con superficie chiara, presentano una significativa perdita di apporto solare invernale (circa 15.000 kWh). L'indice di prestazione energetica, E_{pi} , che esprime il consumo di energia primaria totale riferito all'unità di superficie ($\text{kWh/m}^2\text{anno}$), per le diverse soluzioni di chiusura verticale opaca, è riportato in figura 5.

Tali valori, che rapportati al m^3 variano tra 3 e 5 $\text{kWh/m}^3\text{anno}$, risultano inferiori al valore limite dell'indice di prestazione energetica, secondo D. Lgs 311/2006, pari a $E_{pi} = 9,12 \text{ kWh/m}^3\text{anno}$. Tutte le soluzioni garantiscono, secondo la classificazione di CasaClima, un consumo di energia inferiore rispetto a quello limite della categoria CasaClima Oro ($10 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$). La soluzione 1 presenta il consumo minimo di poco superiore a $5 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$, la soluzione 5, il massimo, di poco superiore a $8 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$.

Climatizzazione estiva

Trattandosi di climi caldi, è stato valutato⁶ anche il comportamento estivo delle soluzioni 1, 2, 4 e 7, che hanno dimostrato una maggiore efficienza, calcolando per ciascuna i valori dei due parametri (tab. 2):

- sfasamento (φ);
- fattore di attenuazione (f_a).

Al fine di determinare l'ammissibilità dei risultati ottenuti, si è fatto riferimento ai valori proposti dal Protocollo Itaca. Viene fissato un valore minimo di sfasamento di 8 h e un massimo fattore di attenuazione pari a 0,35. Risulta che la soluzione 2 è da scartare. Le soluzioni 1 e 7 continuano a presentare le caratteristiche migliori,

Figura 6. Grafico dell'illuminamento con luce naturale relativo alla sezione longitudinale della sala lettura.

con minime differenze, tuttavia anche la soluzione 4 soddisfa pienamente i requisiti minimi. Dalle valutazioni effettuate ne consegue che la tecnologia stratificata a secco, è capace di sviluppare ottime prestazioni energetiche complessive, anche in un contesto climatico come quello del Sud, soggetto ad elevate temperature estive.

Analisi del comfort interno

La crescente insalubrità degli ambienti, confinati ed esterni, legata principalmente all'uso improprio di nuovi materiali industrializzati, ha portato al concetto di microclima inteso come *complesso di parametri ambientali che condizionano lo scambio termico soggetto - ambiente*⁷. Fenomeni d'inabilità temporanea, manifestatisi all'interno dei luoghi di lavoro, vengono connessi alla *Sick Building Syndrom* ovvero a un *complesso di sintomi che si manifestano in uno o più occupanti del medesimo edificio che possono essere riferiti ad uno specifico fattore eziologico [...] presente nell'aria dell'ambiente confinato e dal lungo tempo necessario per la guarigione*⁸.

I parametri che influiscono sul microclima e quindi sulle condizioni di benessere, sono: la purezza dell'aria⁹, la temperatura, l'umidità relativa, la ventilazione, la velocità dell'aria, l'illuminazione, il livello acustico e le vibrazioni. La UNI EN 15251:2008¹⁰ fornisce indicazioni sui valori che tali parametri devono assumere per il comfort dell'ambiente interno.

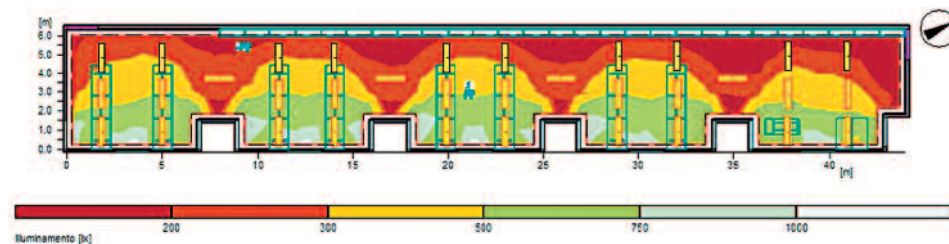
I criteri di comfort termico, che riguardano la temperatura minima-massima ottimale in relazione ai carichi interni, costituiscono input nel calcolo dell'energia di riscaldamento e raffreddamento, e si basano sugli indici di comfort termico PMV-PPD^{11,12}, che vengono valutati sul bilancio di energia termica del corpo umano e calcolati per differenti combinazioni di metabolismo energetico, abbigliamento, temperatura dell'aria, temperatura media radiante,

| Criteri ambiente interno | Categoria edificio | Criteri di progetto |
|--|--------------------|---|
| Condizioni termiche invernali | II | 20-24 °C |
| Condizioni termiche estive | III | 22-27 °C |
| Qualità dell'aria interna (CO ₂) | II | 500 ppm oltre l'esterno |
| Tasso di ventilazione per bioemissioni | II | 7 l/s per m ² |
| Tasso di ventilazione dovuto all'edificio | II | 0,3 l/s per m ² |
| Illuminamento | III | E _m > 500 lux sui tavoli E _m > 200 lux sugli scaffali UGR < 19; R _a > 80 |
| Ambiente acustico | III | Rumore interno < 35 dB (A) Rumore dall'esterno < 55 dB (A) |

Tabella 3. I criteri di progetto usati per il calcolo del fabbisogno energetico e l'analisi del confort interno.

| | Soluzioni di finiture interne analizzate | | | |
|------------------|--|---|--------------------------|-----------------|
| | Soluzione 1 | Soluzione 2 | Soluzione 3 | Soluzione 4 |
| Finitura parete | grigio chiaro-azzurro | rivestimento in legno di quercia chiara | giallo ocra / beige | bianco |
| Libreria | legno betulla | legno noce | legno betulla | legno betulla |
| Pavimenti | marmo grigio chiaro | parquet quercia chiara | mattoni lucidatura scura | parquet betulla |
| Soffitto | grigio perla | grigio chiaro azzurro | bianco | bianco |
| Vetro | chiaro | chiaro | chiaro | chiaro |
| FLD _m | 4,29% > 3% (UNI 10480) | 3,09% > 3% | 4,04% > 3% | 6,78% > 3% |

Tabella 4. Le diverse soluzioni di finiture analizzate.



6

velocità ed umidità dell'aria. La qualità dell'aria interna, che viene espressa come livello richiesto di ventilazione o come concentrazione massima di CO₂, è influenzata dalle bio-emissioni diffuse dovute all'utenza ed alle attività svolte, all'arredamento ed al sistema HVAC¹³. Nel caso studio della mediateca sono stati approfonditi due degli aspetti che contribuiscono al raggiungimento del comfort interno: l'aspetto illuminotecnico e l'aspetto acustico. I valori dei parametri analizzati sono riassunti nella tabella 3.

Comfort visivo

Le condizioni di comfort visivo globale, che dipendono da molti fattori (standard delle ore durante le quali l'edificio è occupato, luce del giorno, latitudine, etc.) sono state ricercate attraverso la definizione ottimale dell'orientamento dell'edificio e dell'entità delle superfici

vetrate, per lo sfruttamento al meglio della luce naturale, e degli apparecchi di illuminazione, attraverso i parametri: livello minimo d'illuminamento (E_m), indice di abbagliamento (UGR), indice di resa cromatica (R_a). Lo studio dell'illuminazione naturale¹⁴ è stato condotto a partire dalle connotazioni del sito (latitudine, longitudine, esposizione) e per diverse soluzioni di finitura interna (tab. 4), attraverso i due parametri: fattore medio di luce diurna (FLD_m), indice di abbagliamento dovuto alla luce naturale o Daylight Glare Index (DGI).

L'abbagliamento, che dipende dalla dimensione e dalla posizione delle superfici vetrate, oltre che dalla riflessione delle pareti interne, viene espresso dal DGI, per il quale la UNI 10480 fissa per biblioteche il valore di 21. Per le finestre sono stati scelti vetri a controllo solare e a bassa emissione che garantiscono:

| Dati del progetto illuminotecnico | |
|-----------------------------------|---|
| Flusso luminoso totale | 332.000 lumen |
| Potenza totale | 4.420 W |
| Illuminamento medio | 567 lux (minimo: 221 lux; massimo: 766 lux) |
| UGR massimo | 16,9 |

Tabella 5. Dati riepilogativi del progetto dell'impianto di illuminazione artificiale.

| Parametri acustici | |
|-----------------------------------|---|
| Chiusure in muratura tradizionale | $R'_W = 44 \text{ dB} < 50 \text{ dB}$ $D_{2m,nT,W} = 57 \text{ dB} > 42 \text{ dB}$ |
| Chiusure stratificate a secco | $R'_W = 54 \text{ dB} > 50 \text{ dB}$ $D_{2m,nT,W} = 65 \text{ dB} > 42 \text{ dB}$ |

Tabella 6. Valutazioni ai sensi della norma UNI EN ISO 717:2007.

- per le finestre poste in facciata: il passaggio del 20% di luce e del 30% di calore,
- per le finestre poste lateralmente alla facciata: il passaggio del 45% di luce e del 40% di calore.

Il calcolo restituisce la distribuzione dell'illuminamento da luce naturale nelle varie parti dell'ambiente, per un piano di lavoro ad altezza di 0,85 m da terra, con riferimento alla modalità di calcolo di cielo coperto nel mese di marzo alle ore 10:30, secondo le norme CIE di riferimento. Il valore di FLD_m è risultato pari a 3,2% e l'illuminamento medio rilevato è di 403 lux, variando da un minimo di 122 lux, ottenuto sulla parete opposta alle aperture dove si trova la scaffalatura, ad un massimo di 870 lux, in prossimità delle finestre (fig. 6)

L'illuminazione naturale, soprattutto sui tavoli, è stata integrata da quella artificiale per garantire: un adeguato valore d'illuminamento per il compito visivo da svolgere; un'uniforme illuminazione; una riduzione degli sprechi; l'eliminazione dell'abbagliamento.

L'uniformità dell'illuminazione, non inferiore a 0,8, si ottiene attraverso una corretta disposizione dei corpi illuminanti, le cui lampade devono avere un'appropriata resa di colore che permetta di fare apprezzare l'intera gamma cromatica delle illustrazioni contenute nei volumi.

Il calcolo fornisce anche il *fattore di manutenzione* (UNI 12464:2011), importante per una manutenzione regolare a garanzia di un impianto efficiente.

Il risultato ottenuto con tali apparecchi nella sala lettura è riportato in tabella 5.

Comfort acustico

Nel caso di biblioteche, dove concentrazione e relax sono aspetti di comfort determinanti, è necessario mantenere basso il livello sonoro di

fondo. I parametri da considerare sono la forma e il trattamento acustico delle finiture. Per ridurre al minimo gli echi o la diffusione irregolare del suono è stata scelta una forma compatta e regolare, e sono state esaminati diversi tipi di finitura al fine di ottenere in tutti i punti dell'ambiente confinato:

- un valore ottimale di assorbimento globale;
- una misura ideale del tempo di riverbero;
- un livello di pressione sonora adeguato alle esigenze dell'utenza.

I parametri dei materiali di finitura da controllare sono: il potere fonoisolante e l'isolamento acustico.

Il potere fonoisolante R dipende dalla densità superficiale della parete e dalla frequenza del suono.

La capacità d'isolamento dipende anche dall'omogeneità degli strati della parete. La norma UNI 15251:2008 fornisce i criteri per la determinazione del livello di pressione sonora, in funzione della destinazione d'uso dell'edificio. Le grandezze previste dalle norme di riferimento¹⁵ sono:

- R'_W indice del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti;
- $D_{2m,nT,W}$ indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata;

Per la progettazione¹⁶ della sala lettura della mediateca, sono stati valutati i requisiti acustici passivi delle diverse soluzioni tecniche già utilizzate nel calcolo dell'efficienza energetica. I valori di output ottenuti con l'ausilio del NIS[®] vengono riassunti in tabella 6.

Il valore medio del potere fonoisolante apparente è stato messo a confronto col valore fissato dal decreto del 1997 ai fini della certificazione. La verifica delle partizioni orizzontali e verticali, nel caso dell'edificio con chiusure murarie tradizionali, ha dato esito negativo. Mentre per la verifica in facciata, dove è stata utilizzata una muratura a cassetta con cappotto esterno,

è stato restituito un valore nei limiti della norma. Anche per le partizioni interne (tramezzi in calcestruzzo cellulare in luogo dei tramezzi in laterizio), aumentandone lo spessore e impiegando idonei isolanti (fibra di roccia in luogo della fibra di legno), la verifica è risultata positiva. Per le soluzioni stratificate a secco, i valori ottenuti risultano compatibili con i limiti prefissati, sia per le partizioni orizzontali e verticali che per le facciate.

Analisi della qualità ambientale

La valutazione della qualità ambientale include gli aspetti precedentemente analizzati e approfondisce l'impatto che l'organismo edilizio genera nel contesto locale in cui è collocato e, più in generale, nell'ecosistema, riferito all'intero ciclo di vita: produzione, costruzione, esercizio e manutenzione, riqualificazione e/o dismissione.

Per la valutazione della qualità energetica e ambientale del caso in studio, è stato applicato il Protocollo ITACA nella versione proposta dalla Regione Marche.

La valutazione ambientale del progetto della mediateca è stata eseguita per i due scenari:

- A) Sistema tradizionale: struttura portante in calcestruzzo armato, solai in latero-cemento e pareti perimetrali in blocchi di calcestruzzo.
- B) Sistema misto a secco: struttura portante in calcestruzzo armato, solai in lamiera greca con soletta collaborante e pareti perimetrali stratificate a secco.

Per ogni elemento tecnico delle due soluzioni sono stati valutati: materiale costituente, spessore s , densità ρ , trasmittanza U , fattore di attenuazione dell'onda termica f , fabbisogno di energia primaria e indice di prestazione energetica E_{pi} .

Il Protocollo ITACA utilizzato si articola in 44 criteri, raggruppati in 5 aree di valutazione a

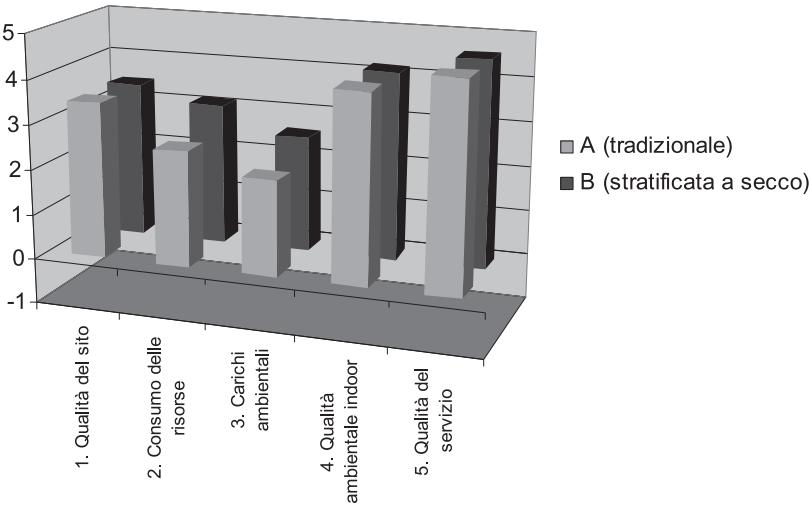
Figura 7. Aree di valutazione ambientale (ITACA) con i relativi punteggi per i due sistemi tecnologici.

loro volta suddivise in 17 categorie. Per ogni criterio è stata compilata una scheda con i dati richiesti e calcolato l'indicatore di prestazione dal cui valore dipende il punteggio da attribuire al singolo criterio. I dati sono stati desunti dalle caratteristiche del progetto, dai vari approfondimenti progettuali riguardanti i diversi aspetti, altri ancora sono stati calcolati

attraverso fogli di calcolo forniti da ITACA. Dal confronto tra i punteggi per ciascun criterio, categoria e area di valutazione si giunge alla valutazione ambientale dei due sistemi a confronto (fig. 7). La soluzione *tradizionale* relativa allo scenario A, raggiunge un punteggio totale pari a 2,92, che corrisponde a un notevole miglioramento

della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti e alla buona pratica. Le aree 2 e 3, con valori inferiori a 3, esprimono prestazioni migliori rispetto ai regolamenti e alle pratiche correnti. La soluzione B, con tecnologia stratificata a secco, ottiene un punteggio totale di 3,31 che corrisponde a un significativo incremento della *best practice*. In questo caso i punteggi delle aree di valutazione 2 e 3 raggiungono valori maggiori o prossimi a 3 quindi corrispondenti a un miglioramento delle prestazioni rispetto al sistema A. La differenza di valutazione tra i due sistemi non dipende dai parametri delle aree di valutazione 1-*Qualità del sito*, 4-*Qualità ambientale indoor*, 5-*Qualità del servizio*¹⁷, ma solo da quelli delle aree 2-*Consumo di risorse* e 3-*Carichi ambientali*. In particolare per l'area *Consumo di risorse*, le differenze tra le due soluzioni risultano apprezzabili (tab. 7), sia in termini di punteggio che in termini di valore dell'indicatore di prestazione. L'ipotesi B infatti:

- prevede l'impiego dei seguenti elementi (U trasmittanza): solai di copertura: $U=0,29 \text{ W/m}^2 \text{ K}$; solai su esterno: $U=0,33 \text{ W/m}^2 \text{ K}$; solai contro terra: $U=0,27 \text{ W/m}^2 \text{ K}$; pareti perimetrali $U=0,14 \text{ W/m}^2 \text{ K}$; che costituiscono un miglioramento rispetto alla soluzione A;
- richiede valori di energia netta e primaria per il riscaldamento, inferiori a quelli della soluzione A;
- presenta un valore di trasmittanza termica periodica più bassa;
- utilizza materiali provenienti da fonti rinnovabili (soprattutto di origine vegetale, quali i pannelli in legno o gli isolanti in fibra di legno);
- garantisce maggiori possibilità (rispetto ad A) di riutilizzo e/o di riciclaggio dei materiali



7

| Aree (parziali) di valutazione e punteggi | | |
|---|-------------|-------------|
| 2. Consumo di risorse | Soluzione A | Soluzione B |
| 2.1 Energia primaria non rinnovabile richiesta durante il ciclo di vita | | |
| 2.1.1 Energia inglobata nei materiali da costruzione | -1,0 | 1,2 |
| 2.3 Materiali eco-compatibili | | |
| 2.3.1 Materiali da fonti rinnovabili | 0,0 | 3,4 |
| 2.3.2 Materiali riciclati/recuperati | 0,0 | 0,8 |
| 2.3.3 Materiali locali | 4,9 | 5,0 |
| 2.3.5 Materiali riciclabili e smontabili | 0,0 | 3,0 |
| 3. Carichi Ambientali | | |
| 3.1 Emissioni di CO ₂ equivalente | | |
| 3.1.1 Emissioni inglobate nei materiali da costruzione | -1,0 | 0,3 |
| 3.1.2 Emissioni previste in fase operativa | 3,8 | 4,2 |

Tabella 7. Aspetti di differenza tra le soluzioni A e B nei punteggi relativi alle aree di valutazione 2 e 3.

costituenti (alluminio, acciaio, vetro), anche grazie alla facilità di smontaggio dei suoi elementi e componenti;

Anche nell'area di valutazione 3-*Carichi ambientali*, la soluzione B assume un punteggio maggiore, rispetto alla A, per il fatto che la tecnologia a secco adottata prevede l'utilizzo di materiali che generano, durante la fase della loro produzione, basse emissioni inquinanti (misurate in kg di CO₂ equivalente) così anche in fase di esercizio, per il minore fabbisogno di energia netta e primaria per il riscaldamento.

Conclusioni

Non c'è dubbio che per affrontare le attuali problematiche di sostenibilità connesse all'impatto dell'oggetto architettonico sull'ambiente, così come auspicato da più parti, occorra dare risposte in termini d'innovazione tecnologica, in una logica di filiera tra mondo della ricerca e mondo della produzione¹⁸, intervenendo sulla qualità del costruito (valutazione del profilo tecnico-ambientale dei materiali utilizzati, efficienza energetica dell'edificio e delle sue parti, etc.) ed in particolare sull'inviluppo, che costituisce l'elemento tecnico preposto allo scambio energetico tra spazio interno ed esterno.

Le analisi condotte in questo caso studio di progetto di una mediateca a Palermo, mostrano come un'attenta valutazione degli aspetti tecnologici possa condurre a un progetto con un impatto ambientale ridotto e buone prestazioni energetiche, in relazione al contesto e alle necessità d'uso.

L'articolo ha voluto testare anche per i climi mediterranei, la validità e i vantaggi delle strutture stratificate a secco, esempio d'innovazione tecnologica ottenuta dall'assemblaggio di elementi semplici, anche innovativi.

Note

- 1 - Zambelli E., Vanoncini P., Imperadori M., *Costruzione stratificata a secco*, Maggioli Editore, Milano, 1998.
- 2 - Galluzzi A., *Gli Idea Stores di Londra. Biblioteche nel 'mercato' urbano e sociale*, Bibliotime, anno XI, n. 2, 2008.
- 3 - Si ringraziano il prof. Antonino Margagliotta per la cura degli aspetti architettonici del progetto e Stefania Di Pisa, Irene Armato, Stefania Stassi per la loro collaborazione.
- 4 - L'efficienza energetica di un edificio risulta maggiore, a parità di forma con l'aumentare del volume, e a parità di volume con la compattezza della forma.
- 5 - Con l'ausilio del software Lex 10^{®10}.
- 6 - Con l'ausilio del software JTempEst[®], disponibile gratuitamente sul sito www.celenit.it.
- 7 - Butera F.M., *Architettura e ambiente, Manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici*, Etas, Milano, 1995.
- 8 - Sasso U., *Il nuovo manuale europeo di bioarchitettura*, Gruppo Mancosu Editore, Roma, 2007.
- 9 - Dipende da numerose tipologie di sorgenti di sostanze inquinanti (materiali da costruzione, materiali e prodotti per le finiture, materiali di arredo, impianti di climatizzazione e riscaldamento, etc).
- 10 - "Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica".
- 11 - Voto medio previsto e percentuale prevista di insoddisfatti.
- 12 - Fanger P.O., *Calculation of thermal comfort: Introduction of a basic comfort equation*. ASHRAE Transactions, 73(2), III4.1-III4.20, 1967.
- 13 - Heating, Ventilation and Air Conditioning.
- 14 - Condotta con l'ausilio del programma, Relux Professional[®].
- 15 - L. 26/10/1995 n. 447 e dal D.P.C.M. del 5/12/1997, i cui indici di valutazione sono riferiti alle norme UNI EN ISO 717:2007 e UNI 8270-7:1987.
- 16 - Con l'ausilio del Noise Insulation Software[®].
- 17 - Per il criterio il 5.2.3 *Mantenimento delle prestazioni dell'involucro esterno*, è stato necessaria la verifica termo-igrometrica delle pareti perimetrali ai fini della formazione della condensa superficiale o interstiziale durante l'intero anno solare, secondo UNI 10349:1994.
- 18 - Federcostruzioni, *Primo rapporto sullo stato dell'innovazione nel settore delle costruzioni*, Presentato al MADEexpo, Milano, 10 Ottobre 2011.

Bibliografia

Alberti D., Mazzon A., *Lex 10 e certificazione energetica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2009.

Bonnaure C., Invernizzi C.M., *L'isolamento acustico degli edifici*, Maggioli Editore, 2007.

De Licio L., *Manuale di progettazione biblioteche*, Mancosu, Roma, 2006.

EPA, The Inside Story: A guide to Indoor Quality, U.S. Environmental Protection Agency and the United States Consumer Product Safety Commission, Office of Radiation and Indoor Air, Washington, DC 20460, 1995.

Imperadori M., *La progettazione con tecnologia stratificata a secco*, Il Sole 24 Ore, Milano, 2008.

International Energy Agency, Annex 31: *Energy-Related Environmental Impact of Buildings*, 2005.

Lavagna M., *Dall'efficienza energetica all'eco-efficienza*.

Costruire in laterizio, n. 125, settembre-ottobre, 2008.

Mingozzi A., *Bioedilizia: metodi ed obiettivi. Un approccio integrale alla progettazione eco-sostenibile*. Atti del Seminario sulla Bioedilizia, Bologna, 22-23/11/2001, Ancab, Roma, 2002, pp. 12-24.

Sesana M. M., Masera G., *Valutazione dell'influenza degli aspetti tipologici e tecnologici sull'efficienza energetica di un edificio residenziale in Italia*, Atti del convegno ISTeA, 2010.

Technological approach for energy efficiency and sustainability of the project

The sustainable building design, due to the technological complexity of the requirements to be satisfied, the massive use of energy and the consequent environmental impact require a design approach, integrating different aspects and involved issues (architecture, technology, engineering, environment, etc.). The morphological and technological project and the nature of materials strongly affect energy efficiency, indoor comfort and environmental impact during the building life cycle. These aspects are strongly interdependent and particularly in the centre of the attention of the scientific community, national and international standardization organizations. This paper shows an example of the overall approach to the environmental sustainability issues in construction, applied to the case-study of the multi-media library project in Palermo, where, starting from the analysis of the context, several solutions, technologically different, were compared to optimise the overall eco-efficiency.